

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-064696

(43)Date of publication of application : 06.03.1998

(51)Int.Cl.

H05H 1/46
C23F 4/00
H01L 21/205
H01L 21/3065

(21)Application number : 08-241313

(71)Applicant : TOKYO ELECTRON LTD

(22)Date of filing : 23.08.1996

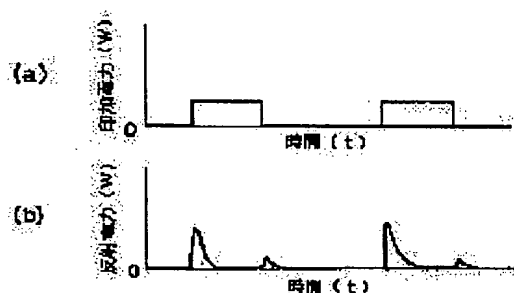
(72)Inventor : KOSHIMIZU CHISHIO

(54) PLASMA PROCESSING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To optimize the plasma processing to be made with a pulse plasma.

SOLUTION: The resonant frequency is shifted higher than steady condition according to the on-timing of high frequency pulses for plasma excitation, and thereby the resonating condition is made easier to be coordinated, and the igniting performance of each pulse plasma can be improved. The frequency or output of high frequency pulses for bias is controlled, and the VPP (voltage max. and min. values of RF power to be applied on a wafer as object to be processed) or VDC (the voltage means value of RF power applied on the wafer) on the processing surface of an object to be processed is kept constant, and thereby steep change of the ion energy is avoided and damage of the object is reduced, and it is possible to conduct uniform plasma processing.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.10.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3122618

[Date of registration] 20.10.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-64696

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月6日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 5 H 1/46			H 0 5 H 1/46	A
C 2 3 F 4/00			C 2 3 F 4/00	A
H 0 1 L 21/205			H 0 1 L 21/205	
21/3065			21/302	A

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平8-241313

(22) 出願日 平成8年(1996) 8月23日

(71) 出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(72) 発明者 奥水 地塩

東京都港区赤坂5丁目3番6号 東京エレクトロン株式会社内

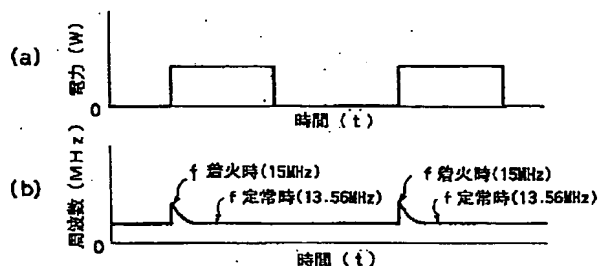
(74) 代理人 弁理士 亀谷 美明 (外2名)

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】 パルスプラズマによるプラズマ処理を最適化する。

【解決手段】 本発明によれば、プラズマ励起用高周波パルスのオンタイミングに合わせて共振周波数を定常時よりも高くシフトさせることにより、共振状態を整いやすくさせ、各パルスプラズマの着火性能を高めることができる。また、バイアス用高周波パルスの周波数または出力を制御して、被処理体の処理面上でのVPPまたはVDCを一定に保持することにより、イオンエネルギーの急激な変化を回避することが可能となり、被処理体へのダメージを軽減し、均一なプラズマ処理を行うことができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 プラズマ源に印加される高周波電力をオン／オフ制御またはハイ／ロウ制御してパルスプラズマを励起し、処理室内に載置された被処理体に対して所定のプラズマ処理を施すプラズマ処理装置において、前記高周波電力の周波数を、プラズマの着火時に、パルスプラズマが励起している定常時よりも相対的に高い周波数にシフトさせる周波数制御手段を設けたことを特徴とする、プラズマ処理装置。

【請求項 2】 プラズマ源に印加される高周波電力をオン／オフ制御またはハイ／ロウ制御してパルスプラズマを励起し、処理室内に載置された被処理体に対して所定のプラズマ処理を施すプラズマ処理装置において、前記高周波電力の周波数を、アフタグロープラズマ励起時またはパルスプラズマの励起時に、プラズマ処理用のパルスプラズマが励起している定常時よりも相対的に高い周波数にシフトさせる周波数制御手段を設けたことを特徴とする、プラズマ処理装置。

【請求項 3】 前記被処理体は、オン／オフ制御またはハイ／ロウ制御可能なバイアス用高周波電力を印加可能な載置台に載置されており、前記被処理体の処理面上での電位または処理面上での電位と見なされる電位の VPP または VDC が実質的に一定になるように前記バイアス用高周波電力の出力を制御する電力制御手段を備えていることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】 前記電力制御手段は、前記載置台に対して一定のバイアス用高周波電力を印加した場合に生じる前記 VPP または VDC の変化に応じて表れる波形の凹凸を相対的に反転した凹凸の波形を実質的に有するように前記バイアス用高周波電力の出力を制御するものであることを特徴とする、請求項 3 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】 前記被処理体は、オン／オフ制御またはハイ／ロウ制御可能なバイアス用高周波電力を印加可能な載置台に載置されており、前記被処理体の処理面上での電位または処理面上での電位と見なされる電位の VPP または VDC が実質的に一定になるように前記バイアス用高周波電力の周波数を制御する周波数制御手段を備えていることを特徴とする、請求項 1、2、3 または 4 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】 前記周波数制御手段は、前記載置台に対して一定のバイアス用高周波電力を印加した場合に生じる前記 VPP または VDC の変化に応じて表れる波形の凹凸と相似する凹凸の波形を実質的に有するように前記バイアス用高周波電力の周波数を制御するものであることを特徴とする、請求項 5 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】 前記バイアス用高周波電力のパルスは、前記プラズマ源に印加される高周波電力のパルスよりも所定の遅延をもって印加されることを特徴とする、請求

項 3、4、5 または 6 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は、プラズマ処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、半導体ウェハや LCD 用基板などの被処理体に対してエッチング処理などのプラズマ処理を施すにあたり、気密な処理容器内に設けられた処理室内に、上部電極と下部電極を対向配置し、少なくとも上部電極と下部電極のいずれか一方に一定周波数の高周波電力を印加して、処理室内に導入される所定の処理ガスをプラズマ化し、被処理体に対して所定のプラズマ処理を施すプラズマ処理装置が提案されている。

【0003】 しかし、一定周波数の高周波電力を電極に連続して印加すると、処理室内の電子温度が上昇するため、処理ガスの解離が過度に進行して、選択比及びホール内のエッチングレートが低下するという問題が生じることがある。そのため、従来の処理装置では、選択比あるいはホール内のエッチングレートの向上には自ずと限界があり、特に最近の半導体デバイスの超高集積化及び小型化に伴って求められる超微細加工（例えば、高アスペクト比のホール加工など）においては、その限界の克服が技術的要求項目として挙げられている。

【0004】 そこで、少なくとも上部電極と下部電極のいずれか一方に、オン／オフ制御またはハイ／ロウ制御された高周波電力パルスを印加することにより、パルスプラズマを励起して、パルスプラズマにより被処理体の処理を行う技術が提案されている。かかる方法によれば、連続的なプラズマでなく、間欠的なパルスプラズマが処理室内に励起されるため、処理室内の電子温度の上昇を抑制することができ、また処理ガスを任意の速度で解離させることが可能となるため、選択比及びホール内のエッチングレートを向上させることができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、RF 電力がオフの場合などのように対向電極間にプラズマが存在しない場合や、RF 電力がロウの場合やアフタグロー放電の場合などのように対向電極間のプラズマが薄い場合には、対向電極間のキャパシタンスが小さいため、共振条件が整いにくい。したがって、従来の装置または方法のように、単にパルス変調した高周波電力を電極に印加するだけでは、パルスプラズマの着火が困難であり、エッチングレートは減少してしまうという問題があった。さらに、従来の装置または方法では、各パルスのオン直後には、電子温度が急激に上昇し、ウェハにダメージを与えるおそれもあった。さらに、パルスのオンあるいはオフ時には、短時間でいわゆる電極間のインピーダンスの急激な変化が起こるため、従来のマッチング回路ではそ

の変化に追従できず、反射波を緩和することが困難であるという問題もあった。

【0006】さらにまた、下部電極に対してバイアス用の高周波電力を印加するプラズマ処理装置において、そのバイアス用高周波電力もパルス変調した場合には、上部電極あるいは下部電極のどちらか一方にパルス変調された高周波電力を印加するプラズマ処理装置に比べ、均一なパルスプラズマを被処理体に引き込むことができる反面、そのパルスのオンあるいはオフ時に被処理体のVPPまたはVDCが急激に変化し、例えば半導体ウェハのゲート酸化膜を破壊するなど、被処理体に対してダメージを与えてしまうことがあり、問題とされていた。

【0007】本発明は、従来のプラズマ処理装置が有する上記のような問題点に鑑みてなされたものであり、電極に印加されるパルス変調された高周波電力の周波数の制御を行うことにより、最適なパルスプラズマを励起して被処理体に対して所望の均一なプラズマ処理を施すことが可能な、新規かつ改良されたプラズマ処理装置を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、請求項1に記載の発明は、プラズマ源に印加される高周波電力をオン／オフ制御またはハイ／ロウ制御してパルスプラズマを励起し、処理室内に載置された被処理体に対して所定のプラズマ処理を施すプラズマ処理装置において、高周波電力の周波数を、各パルスプラズマの着火時に、パルスプラズマが励起している定常時よりも相対的に高い周波数にシフトさせる周波数制御手段を設けたことを特徴としている。

【0009】かかる構成によれば、電極間のコンダクタンスが小さいパルスプラズマの着火時に、印加される高周波電力の周波数を、パルスプラズマが励起している定常時よりも相対的に高い周波数にシフトさせるので、共振条件が整い易くなり、したがって、追従が比較的遅い従来のマッチング回路であっても、パルスプラズマの着火が容易となり、所望の間隔で均一なパルスプラズマを生成させることができ、安定した処理を行うことができる。

【0010】また、請求項2に記載の発明は、プラズマ源に印加される高周波電力をオン／オフ制御またはハイ／ロウ制御してパルスプラズマを励起し、処理室内に載置された被処理体に対して所定のプラズマ処理を施すプラズマ処理装置において、高周波電力の周波数を、アフターグロープラズマ励起時に、プラズマ処理用のパルスプラズマが励起している定常時よりも相対的に高い周波数にシフトさせる周波数制御手段を設けたことを特徴としている。

【0011】かかる構成によれば、比較的プラズマ密度の薄いアフターグロープラズマを励起する場合であっても、印加される高周波電力の周波数を、パルスプラズマ

が励起している定常時よりも相対的に高い周波数にシフトさせるので、共振条件が整い易くなり、したがって、パルスプラズマの着火が容易となる。

【0012】請求項3に記載の発明は、被処理体をオン／オフ制御またはハイ／ロウ制御可能なバイアス用高周波電力を印加可能な載置台に載置することが可能なプラズマ処理装置に適用され、被処理体の処理面上での電位または処理面上での電位と見なされる電位のVPPまたはVDCが実質的に一定になるようにバイアス用高周波電力の出力を制御する電力制御手段を備えていることを特徴としている。

【0013】そして、上記電位のVPPまたはVDCが実質的に一定になるようにするためには、請求項4に記載の発明のように、上記電力制御手段により、載置台に対して一定のバイアス用高周波電力を印加した場合に生じる前記VPPまたはVDCの変化に応じて表れる波形の凹凸を相対的に反転した凹凸の波形を実質的に有するようにバイアス用高周波電力の出力を制御することができる。

【0014】また、請求項5に記載の発明も、請求項3に記載の発明と同様に、被処理体をオン／オフ制御またはハイ／ロウ制御可能なバイアス用高周波電力を印加可能な載置台に載置することが可能なプラズマ処理装置に適用されるが、この場合には、被処理体の処理面上での電位または処理面上での電位と見なされる電位のVPPまたはVDCが実質的に一定になるようにバイアス用高周波電力の周波数を制御する周波数制御手段を備えていることを特徴としている。

【0015】そして、上記電位のVPPまたはVDCが実質的に一定になるようにするためには、請求項6に記載の発明のように、上記周波数制御手段により、載置台に対して一定のバイアス用高周波電力を印加した場合に生じる前記VPPまたはVDCの変化に応じて表れる波形の凹凸と相似する凹凸の波形を実質的に有するようにバイアス用高周波電力の周波数を制御することができる。

【0016】以上のように、請求項3～6に記載の発明によれば、被処理体を載置する載置台に対して、パルス変調されるとともに、VPPまたはVDCが実質的に一定になるように出力または周波数を制御されたバイアス用高周波電力を印加するので、そのパルスのオンあるいはオフ時に被処理体のVPPあるいはVDCがパルスのオンまたはオフ時に急激に変化して被処理体にダメージを与えることがない。また処理室内の電子温度の急激な変化が生じないため、均一なプラズマ処理を被処理体に施すことができる。なお、本明細書において、VPPとは、ウェハ（被処理体）に印加するRF電力の電圧の最大値と最小値を示し、VDCとは、ウェハに印加するRF電力の電圧の平均値をさすものとする。

【0017】また、請求項7に記載の発明のように、上記バイアス用高周波電力のパルスを、プラズマ源に印加される高周波電力のパルスよりも所定の遅延をもって印

加する構成を採用すれば、処理室内に最適な状態のパルスプラズマが励起された後に、被処理体上に引き込むことができるので、より効果的かつ均一なプラズマ処理を行うことが可能となる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下に添付図面を参照しながら、本発明にかかるプラズマ処理装置を平行平板型エッチング装置に適用した、実施の一形態について詳細に説明する。なお、以下の説明において、略同一の機能及び構成を有する構成要素については、同一番号を付することにより、重複説明を省略することにする。

【0019】まず、図1を参照しながら、本実施の形態にかかるエッチング装置100の処理容器102の構成について概略的に説明すると、処理容器102は、導電性素材、例えば表面が陽極酸化処理されたアルミニウムから成る略円筒形状を成しており、後述する載置台104上に載置される半導体ウェハ（以下、「ウェハ」と称する。）Wなどの被処理体に対して所定のプラズマ処理を施す処理室106は、この処理容器102内に形成されている。

【0020】上記処理室102内の底部には絶縁性素材、例えばセラミックスの絶縁支持板103が設けられており、この絶縁支持板103の上部に、被処理体、例えばウェハWを載置可能な、略円柱状の導電性素材、例えばアルマイト処理されたアルミニウムからなる載置台104が形成されている。載置台104は、導電性素材、例えば表面が陽極酸化処理されたアルミニウムから成る略円筒形状を成しており、またウェハの載置面には静電チャック111が設けられていて、ウェハWを吸着保持するように構成されている。この載置台104は、下部電極を構成するものであり、後述するように、増幅器130、マッチング回路132を介して高周波電源136が電氣的に接続されており、所定のバイアス用高周波電力のパルスが印加されるように構成されている。

【0021】載置台104内には、冷媒循環手段105が設けられており、載置台104を介して、ウェハW上の被処理面を所定の温度に調節することが可能なように構成されている。また、静電チャック111内には、不図示の伝熱ガス供給孔が略同心円上に形成されており、各伝熱ガス供給孔には伝熱ガス供給管113を介して伝熱ガス、例えばヘリウムガスが上記ウェハWの裏面と静電チャック111の上面との間に形成される微小空間に供給され、冷媒循環手段105からの伝熱効率を高めるように構成されている。

【0022】また載置台104の上端周縁部には、静電チャック111上に載置されたウェハWを囲むように、略環状のフォーカスリング115が配置されている。このフォーカスリング115は、反応性イオン等を引き寄せない絶縁性の材質、例えば石英からなり、プラズマによって発生した反応性イオン等を、その内側のウェハW

にだけ、効果的に入射するように構成されている。

【0023】また載置台104と処理容器102の内壁との間には、複数のバツフル孔が穿設された排気リング117が、載置台104を囲むように形成されている。この排気リング117は、排気流の流れを整え、処理容器102内から処理ガス等を、均一に排気するように設けられたものである。

【0024】さらに、処理室106の底部側壁には、排気管108が接続されており、この排気管108は、不図示のバルブ等を介して真空引き手段P110に接続されている。従って、処理室106内は、真空引き手段P110の作動により所定の減圧雰囲気、例えば1~100mTorrの任意の圧力に維持される。

【0025】下部電極をなす載置台104と対向する処理室106内の上壁部には、導電性素材、例えば表面が陽極酸化処理されたアルミニウムから成る略円筒形状の上部電極112が設けられている。この上部電極112には、ガス供給管114が接続されており、このガス供給管114は、バルブ116及びマスフローコントローラMFC118を介して、ガス供給源120に接続されている。

【0026】また、上部電極112の内部は、中空部112aを有する中空構造となっており、ウェハWに対向する面112bには、多数の吐出口112cが形成されている。従って、上部電極112内の中空部112aに、ガス供給源120から所定の処理ガス、例えばC₄F₈ガスが導入された後、吐出口112cから処理室106内に均一に導入されるように構成されている。

【0027】ここで、本実施の形態にかかるプラズマ処理装置100の上部電極112及び下部電極104への高周波電力のパルスの印加構成について説明する。

【0028】まず、上部電極112へのプラズマ励起用高周波電力パルスの印加構成について説明する。上部電極112は、マッチング回路120、増幅器126を介して、パルスを発振する高周波電源128に電氣的に接続されている。従って、高周波電源128から所定周波数および出力のパルスが発振されると、プラズマ励起用高周波パルスは増幅器126により増幅された後、マッチング回路120により共振条件などのマッチングが行われた後、上部電極112に印加されるように構成されている。さらに、上部電極112への給電点近くには、プラズマ励起用高周波パルスの状態を検出して、制御器129にフィードバックするセンサ121が設けられている。

【0029】また、増幅器126および高周波電源128は、制御器129に電氣的に接続されそれぞれ制御されており、後述するように、制御器129の制御信号により、上部電極112に対して所定の周波数および出力を有するプラズマ励起用高周波パルスを印加することが可能なように構成されている。

【0030】次に、下部電極104へのバイアス用高周波電力のパルスの印加構成について説明する。下部電極104には、マッチング回路132、増幅器130を介してバイアス用高周波パルスを発振する高周波電源136に電気的に接続されている。従って、高周波電源136から所定周波数および出力のバイアス用高周波パルスが発振されると、増幅器134により増幅され、マッチング回路132により、共振条件などがマッチングされた後、下部電極104に印加されるように構成されている。

【0031】また、増幅器130および高周波電源136は、制御器129に電気的に接続されそれぞれ制御されており、後述するように、制御器129の制御信号により、下部電極104に対して所定の周波数および出力のバイアス用高周波パルスを印加することが可能なように構成されている。さらに、バイアス用高周波パルスの給電点近くには、センサ133が設けられており、下部電極104へ印加されるバイアス用高周波パルスのVPPまたはVDCを測定し、その測定値を制御器129にフィードバックすることが可能である。制御器129は、VPPまたはVDCの測定値に応じて、制御器129により、上部電極112および下部電極104に印加される高周波パルスを適宜修正することにより、処理室106内に最適なパルスプラズマを生成し、ウェハW上に引き込むことができる。

【0032】なお、図示の実施例では、バイアス用高周波パルスのVPPまたはVDCを下部電極104への給電点付近に設けられるセンサ133により検出するように構成しているが、本発明はかかる例に限定されない。後述するように、本発明の制御対象は、被処理体の処理面上に表れるバイアス用高周波パルスのVPPまたはVDCを一定に保持することにより、均一なプラズマ処理を達成することなので、被処理体の処理面上のイオンエネルギーを反映するプラズマ電位を直接測定することが好ましいが、実際のプロセスではかかる測定を行うことは困難なので、本実施の形態にかかる装置のように、下部電極104への給電点付近の電位を計測し、その値をそのまま、あるいは所定の補正処理を施した値を被処理体の処理面上の電位として用いることができる。あるいは、被処理体の裏面付近に設けたセンサや被処理体の外縁に設けられたフォーカスリングに設けたセンサなどの測定値をそのまま、あるいは所定の補正処理を施した値を被処理体の処理面上の電位として用いることができる。さらには、被処理体上方のプラズマ領域の中間電位を適当なセンサ、例えばエミッシブプローブや赤外線分光吸収法を利用したスペクトル分析型センサにより測定し、その測定値のVPPまたはVDCを一定するように高周波パルスを制御するように構成してもよい。

【0033】次に、本実施の形態にかかる、上部電極112および下部電極104に印加されるプラズマ励起用

またはバイアス用の高周波パルスの制御構成についてそれぞれ具体的に説明する。

【0034】(1) プラズマ励起用高周波パルスの制御
まず、上部電極112に印加されるプラズマ励起用高周波パルスの制御方法について説明すると、本実施の形態にかかるプラズマ処理装置100は、図2に模式的に示すように、インダクタンス素子(L)とキャパシタンス素子(C)から構成されるLC共振回路と見なすことができるため、その共振周波数fは、下記の式(1)により表すことができる。

【0035】

【数1】

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}} \quad (1)$$

【0036】ところで、処理室106内にプラズマが励起されていない状態では、上部電極112と下部電極104との間は高真空状態にあるので、キャパシタンス(C)が小さいと考えられる。これに対して、処理室106内にプラズマが励起されている状態では、上部電極112と下部電極104との間にプラズマが入って導通状態になり、見かけ上の対向電極間の距離が短くなり、その結果、キャパシタンス(C)が大きくなる。このように、プラズマ処理装置100では、両電極間にプラズマが存在する場合と存在しない場合（あるいはプラズマが薄い場合）とでは、両電極間のインピーダンスが大きく変動することが指摘されている。したがって、プラズマ励起（定常状態）時のキャパシタンス(C)を想定した共振周波数fを上部電極に印加しても、プラズマの着火がしにくいという問題があった。特に、最初のパルスプラズマ着火時はもちろんのこと、オフ時間が比較的長い場合にもオン時にプラズマ着火がしにくいことが問題となっていた。

【0037】さらに、高周波パルスによりパルスプラズマを両電極間に励起しようとする場合には、図3(a)に示すようにパルスをオン時に発生する、図3(b)に示すような反射波の影響をマッチング回路120により除去しながら、最適な共振条件にマッチングさせる必要がある。ところで、両電極間のインピーダンスの変化に追従させるために、マッチング回路120の構成要素であるインダクタンス(L)とキャパシタンス(C)を変化させる場合には、機械的可動方法をとらざるを得ず、その追従性に問題があった。特に、高周波パルスはオンオフの切り替えが速いため、従来のマッチング回路120では対応することが困難であり、その結果、プラズマの励起に寄与しない高周波電力成分が生じ、電力消費の無駄が生じるとともに、ウェハWに対するダメージや、プラズマ密度の変動に伴う処理の均一性の低下などの問題が生じていた。

【0038】本実施の形態にかかる装置では、上記のような問題点を鑑みて、図4に示すように、上部電極112に印加される高周波パルスの周波数を、制御器129により、各パルスプラズマの着火時に、パルスプラズマが励起している定常時の周波数、例えば13.56MHzよりも相対的に高い周波数、例えば15MHzにシフトさせるように構成している。

【0039】かかる構成によれば、パルスプラズマ着火時などのように、プラズマが存在しないために（あるいは、プラズマが薄いために）キャパシタンス(C)が小さくても、式(1)における共振周波数 f を高めにシフトさせるので、共振条件が整いやすく、マッチング回路120の追従性が悪い場合であっても、プラズマを容易に着火させることが可能である。その結果、プラズマの励起に寄与しない高周波電力の割合を軽減することが可能となり、高周波電力の利用効率を高めることが可能となる。また、高周波パルスであっても、プラズマを安定的に励起することができるので、ウェハWに対するダメージを軽減し、また処理の均一性を向上させることが可能となる。

【0040】なお、上記説明においては、各パルスプラズマの着火時（すなわち、各高周波パルスのオン時）に高周波パルスの周波数を定常時よりも相対的に高い周波数にシフトさせる構成を示したが、本発明はかかる例に限定されない。例えば、プロセスによっては、所定のプラズマ処理の終了後に、アフターグロープラズマを励起させることがあるが、アフターグロープラズマ励起時のように、両電極間に存在するプラズマが非常に薄い場合にも、プラズマが着火しにくいことが指摘されているが、本実施の形態によれば、両電極間にプラズマが存在しない場合のみならず、アフターグロープラズマ励起時のように両電極間に存在するプラズマが薄いと考えられる場合にも、各パルスプラズマの着火タイミングに合わせて、高周波パルスを相対的に高い周波数にシフトさせるので、プラズマの着火を容易に行うことができる。

【0041】なお、本実施の形態によれば、図4に示すように、各高周波パルスの周波数は、各高周波パルスのオン時点では、その当初より相対的に高い周波数に設定される必要があるが、相対的に低い定常時に周波数に戻すにあたっては、図4(b)に示すように、徐々に低い周波数にシフトするように構成することも可能であり、あるいは、1または2以上のステップにわたり段階的に低い周波数にシフトするように構成してもよい。

【0042】(2) バイアス用高周波パルスの制御次に、本実施の形態にかかるプラズマ処理装置によるバイアス用高周波パルスの制御構成について、図5および図6を参照しながら、説明する。

【0043】まず、本実施の形態にかかる装置構成の効果の理解を容易にするために、図5を参照しながら、上部電極112に対して所定周波数の高周波パルスを印加

(図5(a))するとともに、下部電極104に対して一定出力のバイアス用高周波電力を印加(図5(b))した場合を比較例として説明する。かかる構成によると、プラズマ励起用高周波パルスのオン/オフタイミングに応じて、処理室106内の電子温度は、図5(c)に示すように、高周波パルスのオン直後に、急激に上昇する。それに伴って、処理室106内のパルスプラズマの密度を表す電子密度は、図5(d)に示したような波形を示す。

【0044】さらに、バイアス用高周波電力が一定である場合の、ウェハWの処理面付近の電位VPP変化を見てみると、図5(d)に示す上記処理室内の電子密度の波形と相反対に変化し、図5(e)に示したように、プラズマ励起用高周波パルスのオフ時にプラズマ密度が減少するために急激に上昇してしまう。このように、従来の装置のように、バイアス用高周波電力を一定に保持した場合には、プラズマ励起用高周波パルスのオフ時にVPPの上昇により、イオンが急激に加速して、ウェハWの処理面に衝突するために、ウェハWにダメージを与えるおそれがある。

【0045】そこで、上記問題点を解決するために、上部電極112および下部電極104に対して、本実施の形態にかかる、周波数または出力を制御したパルスおよびRFパルスを印加した場合について図6を参照しながら説明する。

【0046】まず、所定のプロセス条件が整った処理室106内の載置台104上にウェハWを載置後、上部電極112に、例えば、例えばパルスのオン時に2kW、そのオフ時に0kWの高周波パルス(図3(a))を参照。)を印加する。

【0047】この際、パルスを発振する高周波電源126およびパルスを増幅する増幅器126は制御器129により制御されており、プラズマの着火性能を高めるために、本実施の形態に従い、図4(b)に示したように、パルスのオンの瞬間には、パルスプラズマが励起している定常時のパルスの周波数、例えば13.56MHzよりも高い周波数、例えば15MHzの周波数のパルスが、上部電極112に印加される。

【0048】そして、上部電極112にパルスが印加されることにより、処理室106内にはそのパルスと処理室106内に導入されている所定の処理ガスとが反応して、パルスプラズマが生成される。このパルスプラズマは、図5(d)に示した電子密度からもわかるように、パルスのオンの瞬間には生成せず、またパルスがオフになった直後にはアフターグローとして残留している。

【0049】そこで、本実施の形態によれば、パルスのオン時とパルスプラズマの生成との時間のずれを勘案して、バイアス用高周波パルスの下部電極104への印加タイミングを制御する。すなわち、上部電極112と下部電極104との間にパルスプラズマが生成すると、電

極間のインダクタンスが大きくなり、すなわちVPPが減少するようになる。この変化はVPPまたはVDCの変化としてセンサ133で検出された後、制御器129にフィードバックされる。

【0050】そして、制御器129は、VPPまたはVDCが一定となるように、制御信号により、バイアス用高周波パルスを発振する高周波電源136および増幅器130を制御して、一定のバイアス用高周波電力を下部電極に印加した場合に見られる電子密度の変化(図5(d)参照。)を相殺して一定となるように、バイアス用高周波パルス電力の出力を制御する。より具体的には、検出されたVPPまたはVDCの波形に表れる変化を相対的に反転した波形(図6(a)参照。)を実質的に有するよう、バイアス用高周波パルス電力の出力を、例えば、800Wと0Wとの間で、制御すれば、図6(d)に示すように、VPPまたはVDCを一定に保持することが可能であり、パルスプラズマを常に一定のエネルギーでウェハWに引き込むことができる。

【0051】なお、上記例では、VPPまたはVDCを一定に保持するために、バイアス用高周波パルス電力の出力波形を制御していたが、本発明はかかる例に限定されない。例えば、図6(c)に示すように、バイアス用高周波パルスの周波数を制御して、VPPまたはVDCを一定に保持するように構成してもよい。その場合には、バイアス用高周波パルスの周波数を、検出されたVPPまたはVDCの波形に表れる変化と相似する波形(図6(b)参照。)を実質的に有するよう、例えば、1.2MHzと800kHzとの間で、制御すれば、図6(d)に示すように、VPPまたはVDCを一定に保持することが可能であり、パルスプラズマを均一にウェハWに引き込むことができる。

【0052】なお、上記例では、バイアス用高周波パルスの出力電力または周波数のいずれか一方のみを制御する構成を示したが、もちろん、出力電力と周波数の双方を同時に制御して、VPPまたはVDCを一定に保持するように制御することも可能であることは言うまでもない。要するに、本発明の要旨は、パルスプラズマによりウェハWをプラズマ処理する際に、両電極間のインピーダンスの変化により生じるウェハWの処理面上でのイオンエネルギーの急激な変動を相殺するように、バイアス用高周波パルスを制御することにあるので、かかる目的を達成するものであれば、上記例に限定されず、さまざまな態様でバイアス用高周波パルスを制御することが可能であり、それらの態様についても、本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【0053】以上説明したように、本実施の形態にかかるプラズマ処理装置においては、上部電極112および下部電極104にそれぞれ印加されるプラズマ励起用高周波パルスおよびバイアス用高周波パルスの周波数および出力を、上記のようにそれぞれ制御することで、パル

スプラズマの着火性を高めるとともに、生成したパルスプラズマを均一なエネルギーでウェハWに引き込むことが可能となる。また、VPPまたはVDCがプラズマ処理中、常時一定に保たれるため、ウェハWに対してダメージを与えることなく、均一なプラズマ処理を施すことができる。

【0054】また、バイアス用高周波パルスを印加するにあたっては、プラズマ励起用高周波パルスのオンタイミングよりも若干の遅延を持たせることが好ましい。すなわち、図5(d)に示すように、プラズマ励起用高周波パルスにより励起されるパルスプラズマのプラズマ密度は、プラズマ励起用高周波パルスのオンタイミングに対して若干の遅延をもってピークに達し、プラズマ励起用高周波パルスのオフタイミングに対しても若干の遅延をもって減衰していくため、かかるプラズマ密度の変化に合わせてバイアス用高周波パルスのオン/オフ切り替えタイミングまたはハイ/ロウ切り換えタイミングを制御することにより、より効率的にパルスプラズマを利用することが可能となる。

【0055】以上、本発明の好適な実施の一形態について、添付図面を参照しながら説明したが、本発明はかかる構成に限定されない。特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇において、当業者であれば、各種の変更例及び修正例に想到し得るものであり、それら変更例及び修正例についても本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【0056】例えば、上記実施の形態において、上部電極112および下部電極104にそれぞれ印加するプラズマ励起用高周波パルスおよびバイアス用高周波パルスの周波数および出力を同時に制御した構成を例に挙げて説明したが、本発明はかかる構成に限定されず、プロセスに応じて、プラズマ励起用高周波パルスとバイアス用高周波パルスのいずれか一方のみを本実施の形態にかかる方法により制御する構成としてもよい。

【0057】また、上記実施の形態においては、センサ121および133によりプラズマ励起用高周波パルスおよびバイアス用高周波パルスの変化を検出して、制御器129によりフィードバック制御する構成を例に挙げて説明したが、本発明はかかる構成に限定されず、あらかじめ試験的に制御パラメータを求めておき、その制御パラメータに基づいて、オープンループ制御を行う構成を採用してもよい。もちろん、オープンループ制御を行う場合であっても、上記センサ121および133によりプラズマ励起用高周波パルスおよびバイアス用高周波パルスの変化を検出して、その検出値が所定の許容値を越えた場合には、処理の停止などの所定の処理を行うように構成しても良い。

【0058】さらに、上記実施の形態においては、上部電極112および下部電極104にそれぞれ印加するプラズマ励起用高周波パルスおよびバイアス用高周波パル

スとして、オン／オフの状態変化をするパルスを用いた場合を例に挙げたが、本発明はかかる例に限定されず、ハイ／ロウの状態変化をするパルスを用いることも可能である。

【0059】上記実施の形態において、平行平板型エッチング装置によりウェハをエッチングする構成を例に挙げて説明したが、本発明はかかる構成に限定されず、高周波パルスを利用してプラズマを励起することが可能なさまざまなプラズマ源、例えばECRプラズマ源や誘導結合プラズマ源などにも当然に適用することが可能である。さらに、本発明は、一のプラズマ源のみを有するプラズマ処理装置に限定されずパルス制御される二以上のプラズマ源を有するプラズマ処理装置に対しても適用することが可能である。その場合には、各プラズマ源に印加される高周波パルスの印加タイミングは、ハンチングを回避するために、多少のズレを持たせることが好ましい。さらに、上記実施の形態では、ウェハWを処理する例を挙げて本発明を説明したが、本発明はかかる例に限定されず、例えばLCD用ガラス基板に対してエッチングする装置にも適用することが可能である。さらに、上記実施の形態では、プラズマ処理装置として、エッチング装置を例に挙げて本発明を説明したが、本発明はエッチング装置に限定されず、パルスプラズマを用いて被処理体に対して所定のプラズマ処理を施すさまざまな装置、例えばアッシング装置やプラズマCVD装置に適用することも可能である。

【0060】

【発明の効果】以上説明したように、本発明にかかるプラズマ装置においては、各パルスプラズマの着火時やアフターグロープラズマの励起時に、パルスプラズマが励起している定常時よりも相対的に高い周波数にシフトさせるので、共振状態が整いやすく、追従性の遅いマッチング回路を用いた場合であっても、パルスプラズマの着火が容易となり、所望の間隔で均一なパルスプラズマを生成させることができる。

【0061】また、被処理体を載置する載置台に、VPPまたはVDCが実質的に一定になるように出力を制御されたバイアス用高周波電力のパルスを印加するので、そのパルスのオンあるいはオフ時に被処理体のVPPあるいは

VDCが急激に変化して被処理体にダメージを与えることなく、ダメージレスの均一なプラズマ処理を被処理体に施すことができる。

【0062】さらに、被処理体を載置する載置台に、VPPまたはVDCが実質的に一定になるように周波数を制御されたバイアス用高周波電力のパルスを印加するので、そのパルスのオンあるいはオフ時に被処理体のVPPあるいはVDCが急激に変化して被処理体にダメージを与えることなく、ダメージレスの均一なプラズマ処理を被処理体に施すことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用可能なプラズマ処理装置の実施の一形態を示す概略的な断面図である。

【図2】図1に示したプラズマ処理装置の模式的な回路図である。

【図3】プラズマ励起用高周波パルスのオンタイミングとその反射波との関係を示すタイミングチャートである。

【図4】本発明に基づくプラズマ処理装置によりプラズマ励起用高周波パルスの周波数を制御する様子を示すタイミングチャートである。

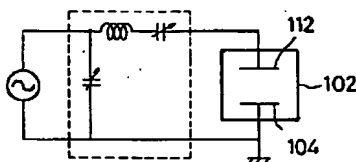
【図5】下部電極に対して一定のバイアス用高周波を印加した場合の電子温度、電子密度およびVPPの関係を示すタイミングチャートである。

【図6】本発明に基づくプラズマ処理装置によりバイアス用高周波パルスの出力および周波数を制御する様子を示すタイミングチャートである。

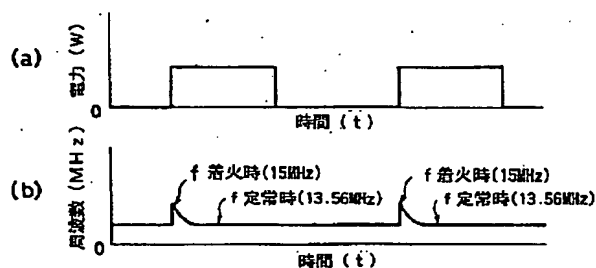
【符号の説明】

102	処理容器
104	下部電極
106	処理室
112	上部電極
120	ガス供給源
122、132	マッチング回路
126、130	増幅器
128、136	高周波電源
121、133	センサ
129	制御器

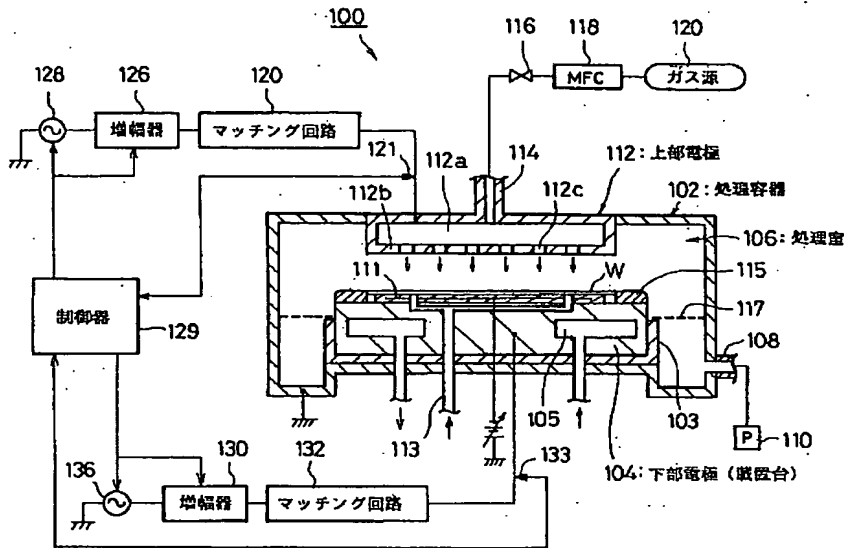
【図2】



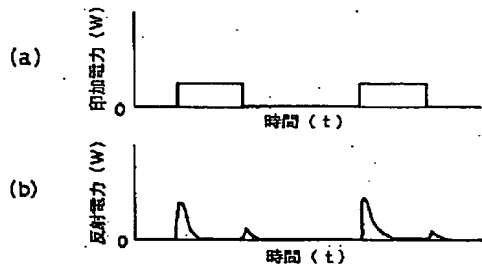
【図4】



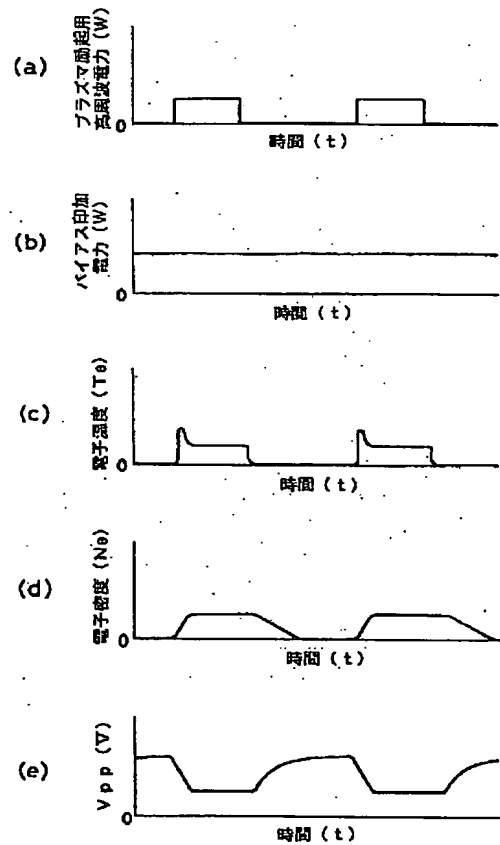
【図1】



【図3】



【図5】



【図 6】

